Reproduction et maturation des gonades de *Sardina pilchardus* dans le golfe d'Annaba (Nord-Est algérien)

by

Fatima Zohra BOUHALI (1), Shahnaz LECHEKHAB* (1, 2), Souad LADAIMIA (1), Assia BEDAIRIA (1), Rachid AMARA (3) & Abdallah Borhane DJEBAR (1)



Received: 19 Jul. 2013
Accepted: 16 Apr. 2015
Editor: K. Rousseau

Key words
Clupeidae
Sardina pilchardus
Algeria
Reproduction
Sex ratio
Size at first sexual maturity

Résumé. – La reproduction de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) a été étudiée entre juillet 2011 et juin 2012 dans le golfe d'Annaba (Nord-Est algérien). Le sex-ratio était globalement en faveur des femelles (1,26 : 1 ; χ^2 = 25,77). Sur un total de 2 266 spécimens échantillonnés, 1 076 étaient des femelles (47,48%), 853 des mâles (37,64%) et 337 des immatures (14,88%). Les immatures étaient mieux représentés dans les petites classes de taille, comprises entre 9 et 11 cm. Le suivi mensuel du rapport gonadosomatique (RGS) et les examens macroscopique et microscopique des gonades ont montré que la période de reproduction de cette espèce se situait entre octobre et mars. Le coefficient de condition présentait deux pics, l'un en novembre et l'autre en avril. La taille à la première maturité sexuelle chez les mâles et les femelles était de 11,5 cm et 11,28 cm, respectivement. La fécondité absolue moyenne des femelles a été estimée à 7 382 ± 4 122 œufs. La fécondité relative moyenne globale des femelles était de 325,37 ± 142,48 œufs/g. Des relations linéaires entre la fécondité absolue et la longueur totale, le poids total, le poids somatique, ou le poids des ovaires ont été observées, cette dernière présentant une forte corrélation (r = 0,73).

Abstract. – Reproduction and maturation of the gonads of *Sardina pilchardus* from the Gulf of Annaba (North-Eastern Algeria).

The reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) was studied between July 2011 and June 2012 in the Gulf of Annaba (North-Eastern Algeria). The sex ratio was in favour of females (1.26:1; χ^2 = 25.77). Among the 2,266 sampled fish, 1,076 were females (47.48%), 853 were males (37.64%) and 337 were immature (14.88%). Immature fish were better represented numerically in the small size class, between 9 and 11 cm. Monthly variations of the gonadosomatic index (GSI) and macroscopic and microscopic examinations of the gonads showed that the reproductive period of *S. pilchardus* occurred between October and March. The hepatosomatic index (RSI), adiposity and condition factor (K) showed variations not related to reproductive cycle. The size at the first sexual maturity was 11.50 cm in males and 11.28 cm in females. The mean absolute fecundity of females was estimated at 7,382 ± 4,122 eggs. In average, the overall relative fecundity of females was 325.37 ± 142.48 eggs/g. Linear relationships between absolute fecundity and total length, total weight, somatic weight, and ovarian weight were observed, this latter being highly correlated (r = 0.73).

La reproduction des poissons est l'un des aspects les plus complexes de leur biologie. Comme chez la majorité des vertébrés, c'est un phénomène cyclique dont la périodicité annuelle est souvent influencée par les conditions environnementales qui agissent sur la maturation des gonades, sur le développement des caractères sexuels secondaires et sur le comportement des reproducteurs (De Vlaming, 1974 ; Billard et *al,* 1978 ; Burns, 1985). Les renseignements concernant la reproduction de *S. pilchardus* du littoral Est Algérien et ses particularités permettront d'alimenter les modèles d'évaluation des stocks et, par la suite, de prendre les décisions en matière de gestion et de réglementation afin d'assurer la rentabilité et la durabilité de leur exploitation. La présence régulière de la sardine le long des côtes Algériennes a motivé des travaux concernant sa biologie et notamment sa reproduction (Bouchereau, 1981 ; Mouhoub, 1986 ; Brahmi *et al*., 1998 ; Bedairia et Djebar, 2009). Le but de ce travail est de fournir des informations sur la biologie de la reproduction de la sardine en déterminant le sex-ratio, la période de ponte, la taille à la première maturité sexuelle, l'estimation de la fécondité absolue, ainsi que les principales phases morphologiques et histologiques des gonades lors de son cycle sexuel.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Au total, 2 266 *Sardina pilchardus* ont été échantillonnés entre juillet 2011 et juin 2012. Ces spécimens proviennent des débarquements commerciaux sur les ports de pêche

(1) Laboratoire d'écobiologie des milieux marins et littoraux, Département des sciences de la mer, Faculté des sciences, Université Badji-Mokhtar, BP 15, Annaba 23000, Algérie. [fatima.bouhali@yahoo.fr] [assiabedairia@yahoo.fr] [djebarborhane2000@yahoo.fr]
(2) Département de médecine, Faculté de médecine, Université Badji-Mokhtar, BP 15, Annaba 23000, Algérie.
(3) Maison de la recherche en environnement naturel, UMR 8187 CNRS LOG, Avenue Foch, 62930 Wimereux, France. [rachid.amara@univ-littoral.fr]
* Corresponding author [lechekhabshahnaz@yahoo.fr]

d'Annaba et d'El Kala (Nord-Est algérien). Sur chaque spécimen examiné, nous avons mesuré : la longueur totale (Lt), le poids total (Pt), le poids éviscéré (Pév), le poids somatique (poids total – poids des gonades) (Ps), le poids des gonades (Pg), ainsi que le poids du foie (Pf).

Sex-ratio

La proportion numérique des sexes est exprimée par le rapport du nombre des femelles sur celui des mâles (sex-ratio ; SR). Cette valeur est suivie par classe de taille.

SR = F/M, avec F = nombre de femelles ; M = nombre de mâles.

Rapport gonadosomatique (RGS)

La période de reproduction de *Sardina pilchardus* dans le golfe d'Annaba est déterminée par le suivi mensuel du rapport gonadosomatique (RGS ; Bougis, 1952). Ce rapport est considéré comme un véritable coefficient de maturité sexuelle (Lahaye, 1980).

RGS = Pg / Pév × 100 avec Pg *:* poids des gonades; Pév: poids éviscéré du poisson

Rapport hépatosomatique (RHS)

L'évolution mensuelle du rapport hépatosomatique (RHS ; Bougis, 1952) est également suivie pour évaluer les variations pondérales du foie au cours du cycle de reproduction, indiquant ainsi son rôle dans le transfert des réserves lipidiques nécessaires au développement des gonades, notamment lors de la vitellogenèse.

RHS = Pf / Pév × 100, avec Pf : poids du foie ; Pév : poids éviscéré du poisson

Adiposité

L'estimation de l'adiposité se fait par le suivi des variations de la quantité des graisses mésentériques au cours d'un cycle annuel selon l'échelle de Nikolsky (1963) qui comporte quatre niveaux : unité 0 : pas de graisse ; unité 1 : graisse dans les anses intestinales ; unité 2 : graisse sur tout l'intestin qui reste cependant visible ; unité 3 : l'intestin est dissimulé par d'importants cordons graisseux.

Coefficient de condition K

Pour vérifier le rôle éventuel des réserves musculaires dans la gamétogenèse, le coefficient de condition est calculé pour chaque individu (Fulton, 1911) :

$$K = (Pév / Lt^3) \times 100,$$

avec : Pév: masse de l'individu éviscéré ; Lt : longueur totale de l'individu.

Taille à la première maturité sexuelle

La taille à la première maturité sexuelle correspond à la longueur pour laquelle 50% des individus sont matures pendant la période de reproduction (Fontana, 1969). Pour la détermination de cette taille, les individus échantillonnés pendant la période de reproduction ont été répartis par classe de taille de 1 cm. Le pourcentage d'individus matures (stades III, IV et V) est établi pour chaque classe de taille. Les couples taille-pourcentage d'individus matures sont ajustés à une courbe logistique (King, 1995) de type sigmoïde dont la formulation mathématique est la suivante :

$$Pr = 1 / [1+\exp\text{-}a(L\text{-}Lm50)],$$

avec : Pr : proportion des matures ; a : pente ; L : longueur totale ; L_{50} : taille à la première maturité sexuelle.

Fécondité absolue et fécondité relative

La fécondité absolue déterminée chez les individus mûrs en pré-ponte est exprimée en nombre d'ovules matures d'un lot ayant des diamètres ovocytaires variant de 200 à 400 μm dans 1 g de gonade, multiplié par le poids total des gonades. La fécondité relative est le nombre total d'ovules par poids corporel. La fécondité absolue (Fa) est exprimée en fonction de la longueur totale (LT), le poids des gonades (Pg), le poids total (Pt) et le poids somatique (Ps).

$Fa = aL^b$, avec : a et b : constante ; L : soit Lt, Pg, Pt ou Ps

Examens macroscopiques et microscopiques des gonades

Pendant un cycle biologique (juillet 2011-juin 2012), le sexe et les stades de maturité sexuelle ont été déterminés macroscopiquement grâce à l'échelle de maturité sexuelle proposée par Pinto et Andreu (1957) et modifiée par Mouhoub (1986), selon la morphologie, la couleur, la transparence et la vascularisation des gonades.

Dans la partie médiane des gonades femelles à différents stades de développement, une section de 2 cm d'épaisseur est prélevée puis fixée dans du Bouin aqueux (Bouin, 1897) pendant 48 h. Les pièces sont déshydratées dans de l'éthanol à pourcentage croissant, puis éclaircies au toluène, et incluses dans la paraffine pour effectuer des coupes de 5 μm, colorées ensuite par l'hémalun-éosine (Martoja et Martoja-Pierson, 1967).

L'observation microscopique de l'évolution ovocytaire est effectuée selon la taille des ovocytes, l'homogénéité

Tableau I. - Caractérisation de l'échantillon de *Sardina pilchardus* pêché dans le golfe d'Annaba. CA : cycle annuel ; HPR : hors période de reproduction ; IM : immature ; PR : période de reproduction (** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$). *[Characterization of* S. pilchardus *sampling in the Gulf of Annaba. CA: annual cycle; HPR: non-breeding season; IM: immature; PR: breeding season (** P ≤ 0.01, *** P ≤ 0.001).]*

Période \ Sexe		♀	♂	IM	Total	Sex-ratio	χ^2_{obs}
CA	Effectif	1076	853	337	2266	1,26	25,77***
	Fréquence (%)	47,48	37,64	14,88	100		
	PR	710	627	52	1389	1,13	5,15**
	HPR	362	228	287	877	1,59	30,34***

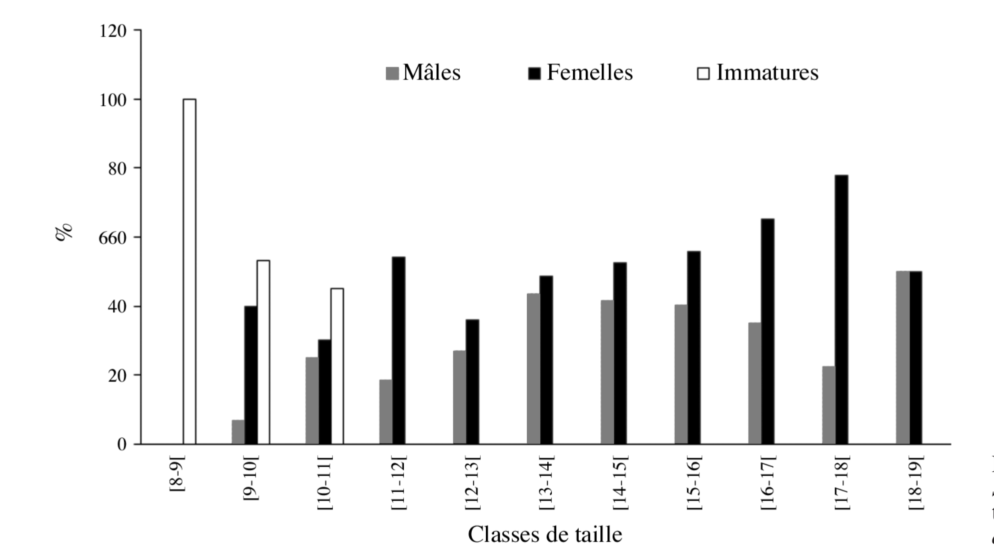


Figure 1. - Répartition des sexes de *Sardina pilchardus* en fonction de la taille. *[Sex repartition of* S. pilchardus, *depending on the size.]*

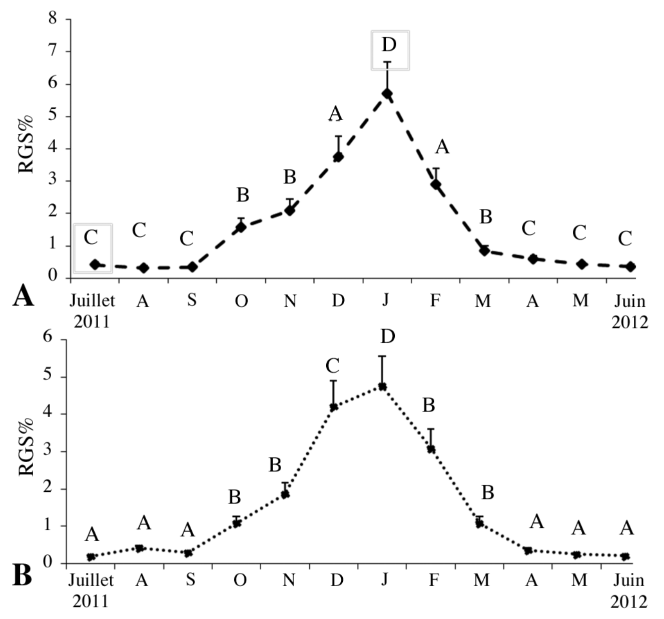


Figure 2. - Variation mensuelle du RGS chez les femelles (**A**) et chez les mâles (**B**) de *Sardina pilchardus*. Les lettres A, B, C et D indiquent la différence significative entre les moyennes mensuelles et les groupes de moyennes identiques. Moyennes ± écarts-types de la moyenne. *[Monthly change of GSI in females (**A**) and in males (**B**). Different letters indicate significant differences between the monthly means and the groups of identical means. Means ± SEM.]*

cytoplasmique, la quantité et la distribution des inclusions lipidiques et protéiques, notamment les globules vitellins (Mellinger, 2002). Ainsi, différentes phases ovocytaires sont identifiées suivant la classification de Le Duff (1997).

Statistiques

Des analyses statistiques ont été réalisées pour tester les hypothèses nulles des différences observées entre variables estimées (proportion des mâles et femelles) par le test de khi-deux (χ^2) (Dagnelie, 1975). L'hypothèse nulle est rejetée au niveau de signification α lorsque χ^2_{obs} est supérieur ou égal à la valeur théorique ($\chi^2_{1-\alpha}$) de la distribution du (χ^2) à la valeur 1 degré de liberté. Ce test n'est valable que pour des effectifs mâles ou femelles supérieurs à 5.

Les tests de l'ANOVA et Newman-Keuls ont été utilisés pour comparer les valeurs moyennes du RGS, RHS, adiposité et le K.

RÉSULTATS

Sex-ratio

Les 2 266 spécimens de l'étude étaient répartis en 1 076 femelles (47,48%), 853 mâles (37,64%) et 337 immatures (14,88%). Le sex-ratio global (SR) déterminé lors du cycle annuel est de 1,26:1 (χ^2 = 25,77 ; $P \leq 0{,}001$). Il est constamment en faveur des femelles pendant toute la période d'échantillonnage, notamment au cours du cycle sexuel annuel (entre juillet 2011 et juin 2012) (Tab. I).

Répartition des sexes par classe de taille

La répartition des sexes (mâles, femelles et immatures) en fonction de la taille a été effectuée en regroupant les spécimens en classe de taille de 1 cm d'intervalle allant de 8 à 19 cm. L'évolution des sexes en fonction de la taille des poissons montre que les immatures sont bien représentés dans les petites classes de tailles [8-11 cm[, les femelles dominent dans les classes de tailles entre [11-13 cm[et [16-18 cm[, alors que dans les classes de tailles [13-16 cm[et [18-19 cm[, la distribution des spécimens est équilibrée entre les femelles et les mâles (Fig. 1).

Période de reproduction

La variation mensuelle du rapport gonadosomatique (RGS) montre une phase ascendante d'octobre à janvier, attei-

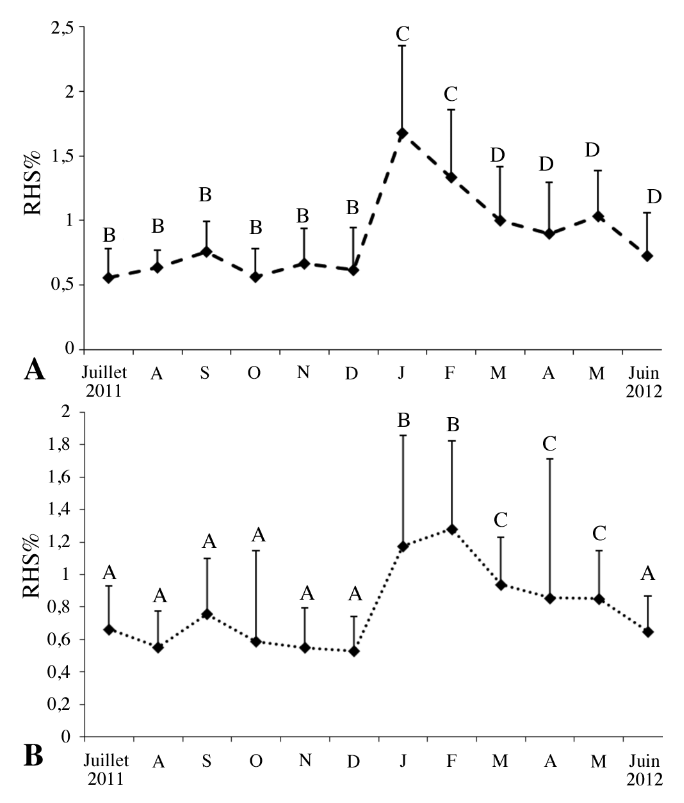


Figure 3. - Variation mensuelle du RHS chez les femelles (**A**) et chez les mâles (**B**) de *Sardina pilchardus*. Les lettres A, B, C et D indiquent la différence significative entre les moyennes mensuelles et les groupes de moyennes identiques. Moyennes ± écarts-types de la moyenne. *[Monthly change of HSI in females (**A**) and in males (**B**). Different letters indicate significant differences between the monthly means and the groups of identical means. Means ± SEM.]*

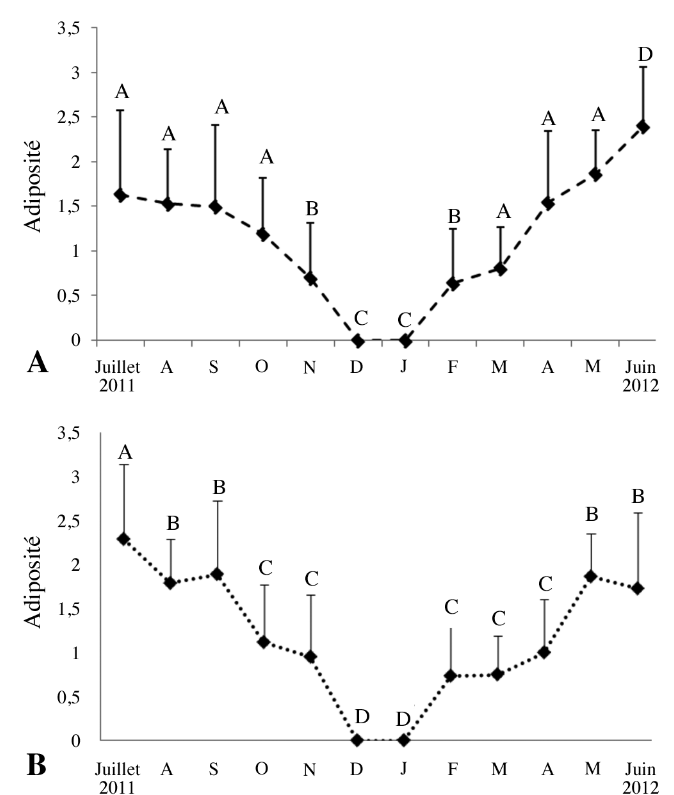


Figure 4. - Variation mensuelle de l'adiposité chez les femelles (**A**) et chez les mâles (**B**) de *Sardina pilchardus*. Les lettres A, B, C, et D indiquent la différence significative entre les moyennes mensuelles et les groupes de moyennes identiques. Moyennes ± écarts-types de la moyenne. *[Monthly change of adiposity in females (**A**) and in males (**B**). Different letters indicate significant differences between the monthly means and the groups of identical means. Means ± SEM.]*

gnant alors des valeurs maximales de 5,715 ± 1,739 pour les femelles et 4,765 ± 1,408 pour les mâles. À partir de février, les valeurs de cet indice chutent considérablement pour afficher des valeurs minimales en avril pour les deux sexes (0,60 ± 0,72 chez les femelles; 0,36 ± ,32 chez les mâles).

L'analyse de variance (ANOVA) entre les valeurs moyennes du RGS montre qu'il y a une hétérogénéité entre ces valeurs, que ce soit pour les femelles (F_{obs} = 13,12 ; P ≤ 0,001) ou les mâles (F_{obs} = 3,22 ; P ≤ 0,001). La comparaison des valeurs moyennes du RGS deux à deux par le test de Newman-Keuls révèle que les valeurs moyennes d'octobre à mars sont différentes des autres mois (Fig. 2) avec un pic significatif en janvier.

Rapport hépatosomatique

Les valeurs du rapport hépatosomatique (RHS) augmentent brusquement entre décembre et janvier pour atteindre une valeur maximale de 1,67 ± 0,67 chez les femelles et de 1,17 ± 0,68 chez les mâles. Cette évolution se poursuit jusqu'en février (1,33 ± 0,52 chez les femelles ; 1,28 ± 0,54 chez les mâles). L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes du RHS (F_{obs}= 2,08 pour les femelles ; $F_{obs\,=}$ 43,11 pour les mâles ; P ≤ 0,001). Les valeurs obtenues en janvier et en février sont statistiquement différentes des autres valeurs que ce soit chez les femelles ou les mâles (Fig. 3).

Adiposité

Les valeurs de l'adiposité présentent un pic en juin chez les femelles (2,39 ± 0,78) et en juillet chez les mâles (2,29 ± 0,85). Pendant la période de reproduction, les valeurs de l'adiposité sont réduites d'octobre à janvier chez les mâles et les femelles. Deux valeurs nulles sont observées en décembre et janvier pour les deux sexes. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes de l'adiposité pour les femelles (F_{obs} = 85,2 ; P ≤ 0,001) et pour les mâles (F_{obs} = 65,2 ; P ≤ 0,001). Le test de Newman-Keuls révèle que les valeurs moyennes de l'adiposité obtenues en décembre et en janvier sont différentes de celles des autres mois (Fig. 4).

Coefficient de condition K

Les valeurs du coefficient de condition varient de

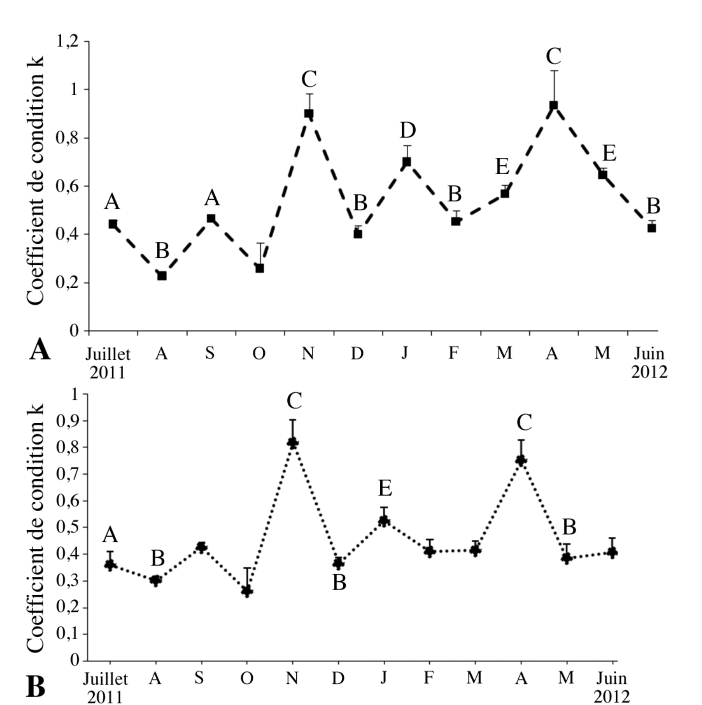


Figure 5. - Variation mensuelle du coefficient de condition K chez les femelles (**A**) et chez les mâles (**B**) de *Sardina pilchardus*. Les lettres A, B, C, D, et E indiquent la différence significative entre les moyennes mensuelles et les groupes de moyennes identiques. Moyennes ± écarts-types de la moyenne. *[Monthly change of condition factor K in females (**A**) and in males (**B**). Different letters indicate significant differences between the monthly mean and the mean of identical groups. Means ± SEM.]*

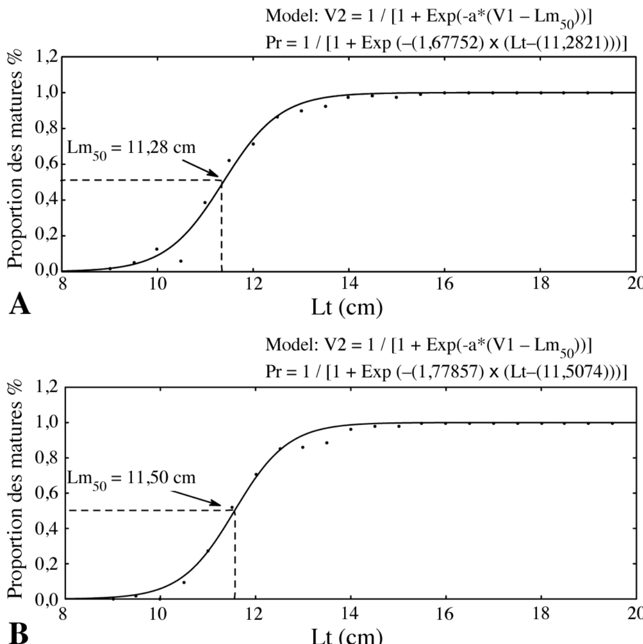


Figure 6. - Taille de première maturité sexuelle (L_{50}) des *Sardina pilchardus* chez les femelles (**A**) et chez les mâles (**B**). *[The size at first maturity (L_{50}) in females (**A**) and in males (**B**).]*

0,22 ± 0,11 à 0,93 ± 0,14 chez les femelles et de 0,30 ± 0,01 à 0,82 ± 0,08 chez les mâles. Il existe une phase de bonne condition en automne, avec un pic en novembre (0,90 ± 0,05 chez les femelles et 0,82 ± 0,08 chez les mâles) et au printemps, avec un pic en avril (0,93 ± 0,14 chez les femelles et 0,75 ± 0,07 chez les mâles).

L'analyse de variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les valeurs moyennes de K (F_{obs} = 1 437,31 pour les femelles; F_{obs} = 1 234,45 pour les mâles ; P ≤ 0,001). Le test de Newman-Keuls révèle que les valeurs moyennes du coefficient de condition obtenues en novembre et en avril sont différentes de celles des autres mois (Fig. 5).

Taille à la première maturité sexuelle

L'évolution par classe de taille des fréquences des individus matures (Fig. 6) permet de situer la taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) à une longueur totale de 11,50 cm pour les mâles et à 11,28 cm pour les femelles. Au-delà de 16,00 cm, tous les individus échantillonnés étaient matures.

Fécondité

La fécondité absolue (n = 30) est comprise entre 2 572 et 17 195 œufs, avec une valeur moyenne de 7 382 ± 4 122 œufs. La fécondité relative oscille entre 136,41 (Lt = 13,6 cm, Pt = 21,44 g) et 671,75 (Lt = 15 cm, Pt = 25,99 g) avec une moyenne de 325,37 ± 142,48 œufs/g. Des relations ont été obtenues entre la fécondité et les différents paramètres biologiques : la longueur totale ($Fa = 6{,}858lt^{2{,}497}$; r = 0,615) (Fig. 7A), le poids des gonades ($Fa = 5084pg^{0{,}922}$; r = 0,731) (Fig. 7B), le poids total ($Fa = 301{,}1pt^{0{,}915}$; r = 0,627) (Fig. 7C), et le poids somatique ($Fa = 119{,}6Ps^{1{,}261}$; r = 0,583) (Fig. 7D).

Structure morphologique des gonades

L'évolution de la structure morphologique des ovaires lors du cycle sexuel annuel, établie suivant leur aspect macroscopique, met en évidence des modifications en fonction des stades de maturité des gonades. Au cours de la maturation des gonades, le volume des ovaires augmente considérablement et des modifications morphologiques s'observent par le changement de couleur, de transparence de la paroi et le développement de la vascularisation périphérique (Tab. II).

Structure histologique des gonades

L'observation microscopique de gonades femelles correspondant aux différentes phases annuelles de maturation sexuelle a permis de constater l'évolution des cellules en fonction des stades d'ovogenèse. L'évolution ovocytaire se distingue par la pré-vitellogenèse, suivie de la vitellogenèse en se référant à la taille des ovocytes, l'homogénéité de leur structure, la quantité et la distribution des inclusions lipidi-

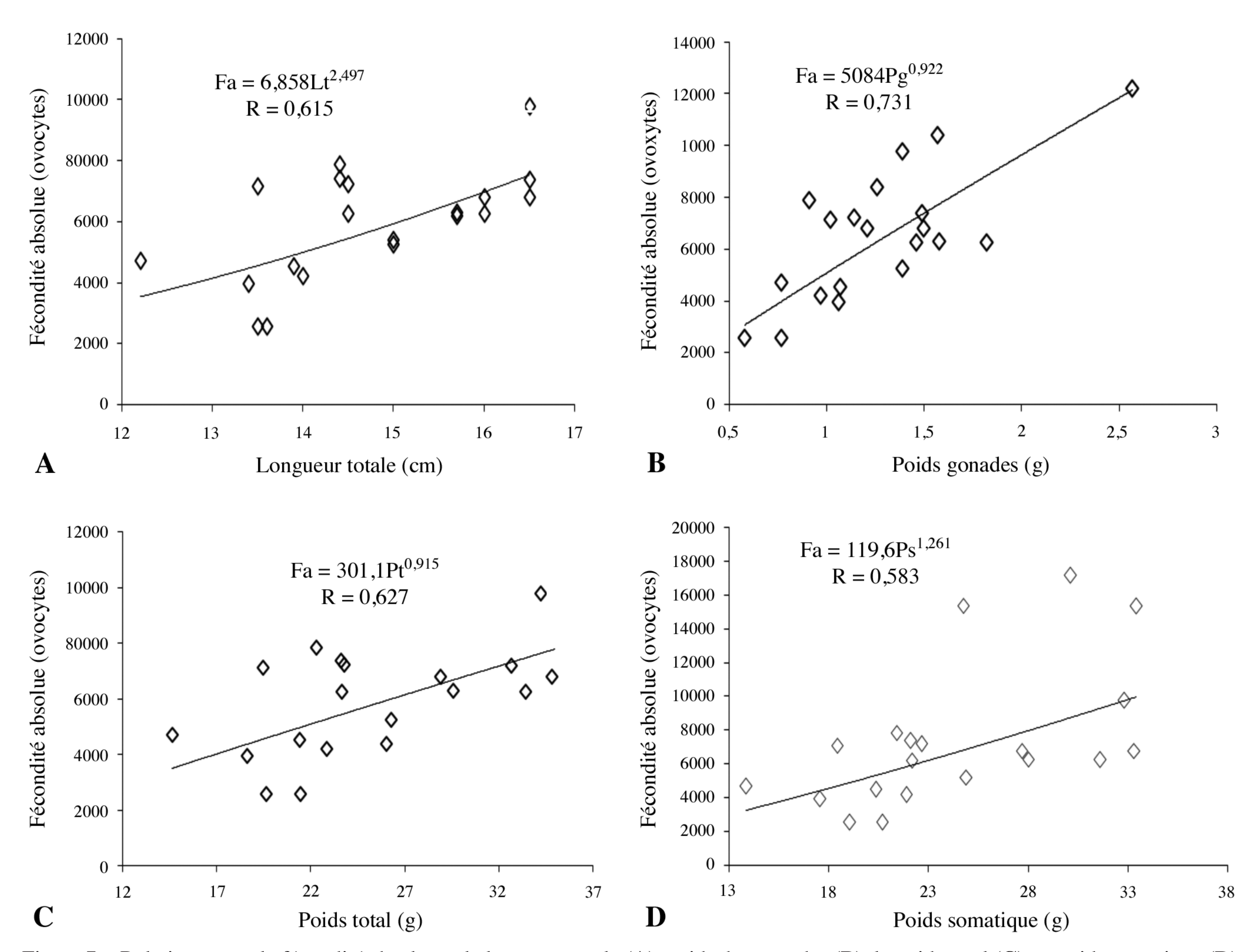


Figure 7. - Relations entre la fécondité absolue et la longueur totale (**A**), poids des gonades (**B**), le poids total (**C**), et poids somatique (**D**) chez *Sardina pilchardus*. *[Relationships between batch fecundity and total length (**A**), ovary free weight (**B**), total weight (**C**) and somatic weight (**D**).]*

ques et protéiques dans le cytoplasme constituant les enclaves ou globules vitellins (Tab. II ; Fig. 8).

DISCUSSION

À partir d'un échantillonnage aléatoire et mensuel dans le golfe d'Annaba, effectué de juillet 2011 à juin 2012, nous avons déterminé le cycle de reproduction et l'évolution des stades de maturité sexuelle des gonades de 2 266 spécimens de *S. pilchardus*.

Le sex-ratio global (SR) déterminé lors du cycle annuel est constamment en faveur des femelles que ce soit en période de reproduction (octobre-mars) (SR = 1,13 ; χ^2 = 5,15 ; P ≤ 0,01) ou hors période de reproduction (avril-septembre) (SR = 1,59 ; χ^2 = 30,34 ; P ≤ 0,001). La dominance des femelles mise en évidence dans le golfe d'Annaba a été également observée sur les côtes méditerranéennes, notamment sur le littoral Est algérien (Bedairia et Djebar, 2009) et les côtes tunisiennes (Kartas, 1981). Cette dominance des femelles peut être expliquée soit par une mortalité relative des mâles lors de la reproduction, soit par des différences de croissance en faveur des femelles (Millán, 1999; Amenzoui *et al.*, 2004).

Le suivi pondéral des gonades par le calcul du rapport gonado-somatique (RGS), combiné à des observations morphologiques et histologiques, montre une période de reproduction s'étalant d'octobre à mars avec une ponte en janvier dans le golfe d'Annaba. La phase ascendante des valeurs de RGS à partir d'octobre témoigne du développement des gonades et de leur maturation en vue de la ponte. L'évacuation des ovules entraîne une baisse des valeurs du RGS en mars, les gonades entrant alors dans une phase de post-ponte, ce qui indique la fin de la période de reproduction et le début de la phase de récupération.

Tableau II. - Les différents stades de maturation sexuelle des ovaires de *Sardina pilchardus* basés sur des caractéristiques morphologiques et histologiques par rapport aux valeurs du rapport gonadosomatique (RGS). *[Different stages of sexual maturation of* S. pilchardus *ovaries based on morphological and histological characteristics compared to the values of gonadosomatic index (GSI).]*

Caractères / Stades	Structure morphologique	Structure histologique	RGS
Stade I : Immature	Ovaires volumineux, d'une coloration jaune et surface ovarienne granuleuse avec une vascularisation bien apparente	Petits ovocytes de phase I (20-25 µm) arrondis, au contour régulier avec gros noyau et cytoplasme dense et homogène, sans formation de granules vitellins (Fig. 8A)	0,97 ± 0,55
Stade II : Pré-ponte	Ovaires augmentant de volume, la coloration devenant orangé plus foncé avec vascularisation développée. Des ovocytes spécifiés sont nettement visibles à travers la membrane ovarienne.	- Follicules bien regroupés et remplis de gros ovocytes libres dans la cavité du follicule. Ce stade se caractérise par la présence d'ovocytes de différentes phases: - Ovocyte de phase II: plus volumineux avec un noyau central plus gros contenant un ou plusieurs nucléoles et un cytoplasme homogène renfermant une couronne périphérique d'alvéoles corticales (Fig. 8B), ovocyte en vitellogenèse endogène. - Ovocyte de phase III : granules vitellins de plus grande taille remplissant la cavité folliculaire (100-150 µm). Le noyau est central. Le cytoplasme est envahi par des inclusions vitellines s'organisant en liséré périnucléaire. Les couches folliculaires s'organisent en thèque externe, zone pellucide et granulosa (Fig. 8B). - Ovocyte de phase IV avec inclusions lipidiques autour du noyau central et en périphérie du cytoplasme (Fig. 8C)	2,39 ± 1,75
Stade III : Ponte	Ovaires très volumineux occupant toute la cavité abdominale d'une coloration rouge. Apparence d'ovocytes transparents disposés irrégulièrement entourés de zones hyalines. Vascularisation très développée observée surtout sur la partie postérieure des ovaires	Ovocyte mature de phase V en début d'hydratation avec noyau excentré. Ovocyte en vitellogenèse avancée semblant liquéfié, les inclusions vitellines fusionnent, lui donnant un aspect hyalin. Enveloppe nucléaire irrégulière avec migration du noyau vers l'un des pôles. À ce stade, l'ovocyte peut se détacher de sa thèque et de sa *granulosa* pour être libéré dans la cavité ovarienne afin d'être expulsé (Fig. 8D).	5,71 ± 1,73
Stade IV : Post-ponte	Ovaires rougeâtres (congestion des vaisseaux sanguins) devenant flasques montrant des zones hyalines plus grandes.	Follicules vides post-ovulatoires entourés de tissu conjonctif lâche. Les ovocytes présentent une structure lâche et atrétique. Les lames ovariennes renferment également des ovocytes vitellogéniques dans différents stades (stock cellulaire pour d'éventuels cycles sexuels) (Fig. 8C).	2,91 ± 2,21
Stade V : Repos sexuel	Ovaires devenant petits et fermes, translucides parfois colorés en orange pâle. Une vascularisation très fine est observée.	Les ovaires renferment des ovocytes atrétiques ainsi que des ovocytes prévitellogéniques qui pourront amorcer leur évolution lors du prochain cycle sexuel (Fig. 8F). Les espaces libérés par la dégénérescence des ovocytes vitellogéniques sont recolonisés par ces ovocytes prévitellogéniques au repos renfermant un volumineux noyau central avec de nombreux nucléoles. Leur cytoplasme contient quelques vésicules vitellines en liseré périphérique.	0,62 ± 0,42

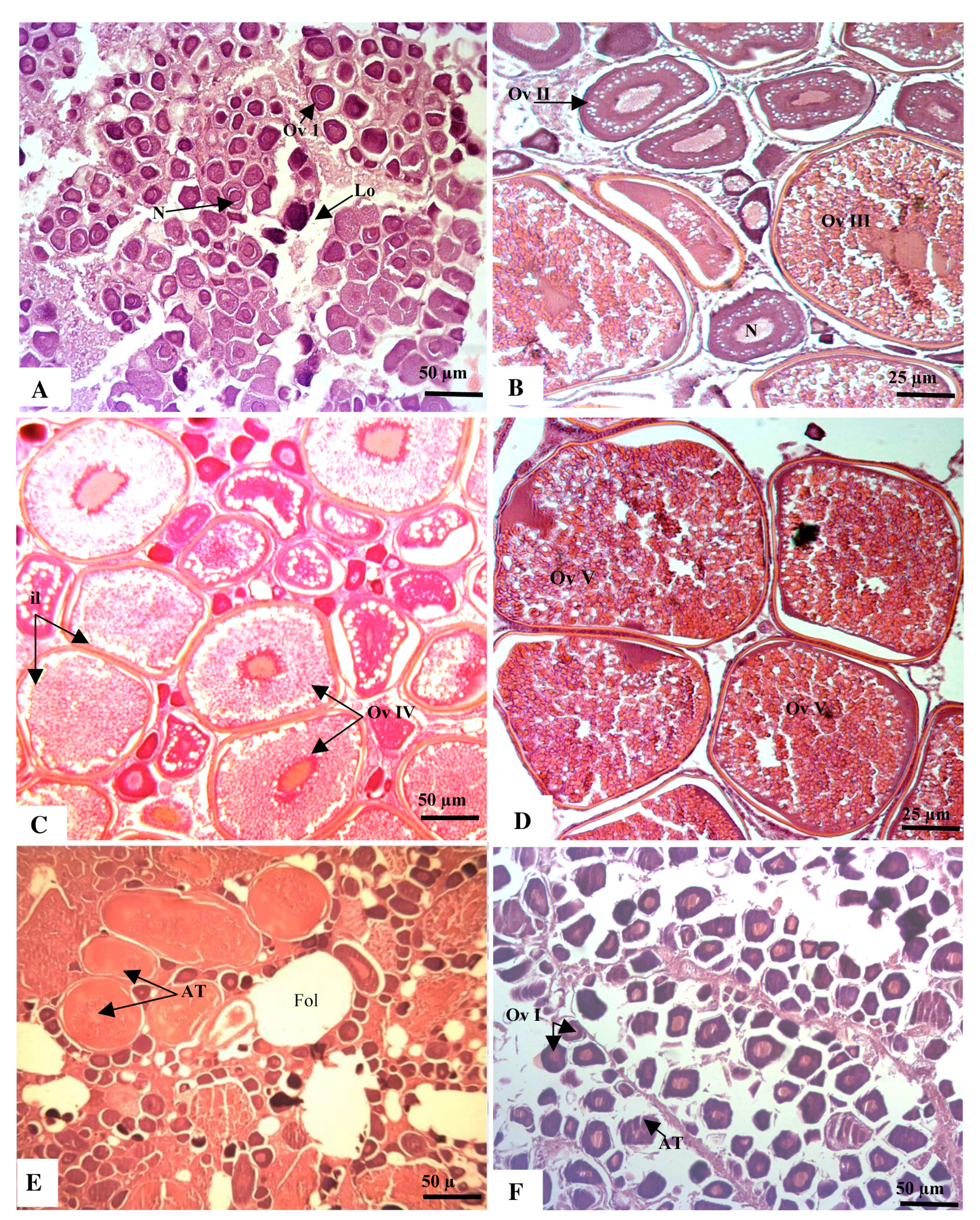


Figure 8. - Représentation histologique des cinq stades de maturité cellulaire des ovaires de *Sardina pilchardus*. **A** : Stade I, Immature ; **B, C** : Stade II, Pré-ponte ; **D** : Stade III, Ponte ; **E** : Stade IV, Post-ponte ; **F** : Stade V, Repos sexuel (voir Tab. II). Coloration à l'hémalun-éosine. Ov I: ovocyte primaire de phase I ; Ov II : ovocyte primaire de phase II ; Ov III : ovocyte primaire de phase III ; Ov IV : ovocyte primaire de phase IV ; Ov V : ovocyte primaire de phase V ; N : noyau ; il : inclusions lipidique ; AT : ovocyte atrétique ; Lo : lumière ovarienne ; Fol : follicules vides (lacunes poste-ovulatoires). *[Histological representation of the five stages of cell maturity of ovaries in* S. pilchardus. ***A****: Stage I, Immature;* ***B, C****: Stage II, Pre-spawning;* ***D****: Stage III, Spawning;* ***E****: Stage IV, Post-laying;* ***F****: Stage V, Sexual rest (see Tab. II). Staining with haematoxylin-eosin. Ov I: primary oocyte phase I; Ov II: primary oocyte phase II; Ov III: primary oocyte phase III; Ov IV: primary oocyte phase IV; Ov V: primary oocyte phase V; N: nucleus; il: lipid inclusions; AT: atretic oocyte; Lo: ovarian light; Fol: empty follicles (gaps post-ovulatory).*

L'évolution morphologique des gonades est un indicateur imprécis de l'état de reproduction et ne permet pas de déterminer le degré de maturité des ovaires. De ce fait, une analyse microscopique devient indispensable pour déterminer la maturation des gamètes. Les observations microscopiques des gonades ont montré que leur maturation a lieu entre octobre et mars. L'émission des gamètes débute en janvier et, à partir de mars, les gonades entrent en repos. Les ovocytes immatures constituent un stock cellulaire pour le cycle sexuel suivant. Dans les ovaires, plusieurs groupes de stades ovocytaires distincts sont mis en évidence lors de la vitellogenèse pour aboutir à des ovocytes mûrs prêts à être émis, ce qui permet de supposer que la ponte de cette espèce est fractionnée durant une même saison. Les ovules non évacués subissent une atrésie et finissent par dégénérer. L'étude histologique confirme la période de reproduction qui a été déterminée par le RGS ; ces résultats correspondent à ceux qui ont été rapportés par Pinto et Andreu (1957) chez cette même espèce, et modifiés par Mouhoub (1986). Le long des côtes algériennes, *S. pilchardus* se reproduit généralement à la même période : de décembre à mars sur les côtes algéroises (Djabali et Mouhoub, 1989), et en baie d'Oran (Tomasini *et al*., 1989) et de novembre à mars en baie d'Annaba (Bedairia et Djebar, 2009). Sur les côtes atlantiques, la période de reproduction est plus longue qu'en Méditerranée : de janvier à juillet au nord du golfe de Gascogne (L'Herrou, 1971), de janvier à juin sur la côte nord occidentale de l'Espagne (Pérez *et al*., 1985), d'octobre à juin au nord du Portugal (Ré *et al*., 1990), de février à août en baie de Douarnenez en France (Le Duff, 1997), et de novembre à juillet dans la région de Laâyoun au Maroc (Amenzoui *et al*., 2006).

Le suivi mensuel du rapport hépatosomatique (RHS) montre une évolution presque similaire à celle du RGS avec des valeurs maximales atteintes au même moment, ce qui montre que le foie n'intervient pas dans le transfert des réserves lipidiques nécessaires à la vitellogenèse. Cela confirme le classement de *S. pilchardus* parmi les poissons gras caractérisés par une accumulation lipidique dans les muscles et par un dépôt de graisses mésentérique et sous-cutané, contrairement aux poissons maigres où les lipides s'accumulent dans le foie avant de passer dans les gonades (Lahaye, 1980). Chez la sardine, le stockage des lipides a lieu dans les muscles, à l'intérieur ou entre les fibres musculaires (Bertin, 1958).

Les valeurs maximales de l'adiposité sont enregistrées en septembre, au début de la maturation des produits génitaux, tandis qu'elles diminuent en décembre et en janvier lorsque le poids des gonades est maximal. Cela confirme que cette sardine utilise les réserves lipidiques musculaires et du mésentère pour développer les gamètes.

Les valeurs minimales de l'adiposité ont été enregistrées lors de la période froide sur les côtes Est de l'Algérie avec une valeur minimale de 13°C en hiver (Derbal et Kara, 2010). Cependant, il apparaît clairement que la graisse est très abondante du printemps à l'automne, période qui précède le début de la reproduction. Ceci implique une accumulation des réserves chez la sardine avant la période de reproduction.

L'évolution mensuelle du coefficient de condition (K) permet de déduire une stratégie dans l'utilisation des apports énergétiques. C'est durant le repos sexuel et la période d'abondance du plancton que la sardine se nourrit le plus et augmente son poids somatique. En mer Méditerranée (Kartas et Quignard, 1984 ; Tomasini *et al.,* 1989 ; Abad et Giráldez, 1993) et dans l'océan Atlantique (Pérez *et al*., 1985), les variations du coefficient de condition *K* varient en sens inverse du RGS. Sur les côtes du Nord-Est algérien, la sardine n'arrête pas de s'alimenter en période de ponte et les réserves musculaires n'interviennent donc pas dans l'élaboration des gamètes (Bedairia et Djebar, 2009).

La taille à la première maturité sexuelle (L_{50}) de *S. pilchardus* des côtes Est algériennes est de 11,28 cm pour les femelles et de 11,50 cm pour les mâles. Nos résultats sont proches de ceux qui ont été obtenus sur la même espèce par Kartas (1981) sur les côtes tunisiennes (L_{50} : 12,30 cm pour les femelles ; 11,80 cm pour les mâles), par Mouhoub (1986) sur les côtes algéroises (12,90 cm pour les femelles et 11,90 cm pour les mâles) et par Bouchereau (1981) dans la baie d'Oran (12,30 cm pour les deux sexes). Au niveau des côtes atlantiques, cette taille est plus grande, de 15,20 cm chez les femelles et 15 cm chez les mâles (Mendez-Vilamil Mata *et al.,* 1997) dans les îles Canaries, et 17,50 cm chez les femelles et 16,30 cm chez les mâles sur les côtes atlantiques marocaines dans la région de Laâyoun (Amenzoui *et al.,* 2006). Ces variations de la taille à la première maturité seraient apparemment imputables aux différentes stratégies développées par les poissons dans des milieux différents pour une meilleure adaptation aux conditions environnementales telles que la température (Abed et Giraldez*,* 1993).

La fécondité absolue estimée sur la sardine du golfe d'Annaba est comprise entre 2 572 à 17 195 œufs par femelle mature. D'après Andreu (1955), la sardine de Malaga pond en moyenne 29 000 œufs par individu (de 15 000 à 50 000). À Oran, Bouchereau (1981) détermine un intervalle de 5 000 à 20 000 œufs par femelle. En Tunisie, Kartas (1981) estime la fécondité absolue de la sardine entre 5 000 et 38 500 œufs par individu. Ces différences de la fécondité dans ces régions pourraient s'expliquer par les variations hydro-climatiques d'une région à une autre, notamment la température et la disponibilité de la nourriture (Witthames *et al.,* 1995 ; Murua *et al.,* 2003 ; Ganias, 2009).

CONCLUSION

L'échantillon aléatoire de *S. pilchardus* dans le golfe d'Annaba présente une dominance des femelles au cours d'un cycle annuel. La période de reproduction de ce poisson gras se déroule d'octobre à mars, avec une ponte en janvier. La taille à la première maturité sexuelle est établie à 11,50 cm chez les mâles et 11,28 cm chez les femelles. La fécondité absolue moyenne est de 7 382 ± 4 122 œufs, alors que la fécondité relative moyenne est de 325,37 ± 142,48 œufs/g.

Remerciements. – Ce travail fait partie du projet de recherche national sur l'exploitation et la gestion des stocks des petits pélagiques CNEPRU n° F01120100093 agréé le 01/01/2011 (Laboratoire d'écobiologie des milieux marins et littoraux). Les auteurs remercient particulièrement le Pr Mourad Bensouilah, directeur du laboratoire EMML, ainsi que toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de cette étude.

RÉFÉRENCES

ABAD R. & GIRÁLDEZ A., 1993. - Reproducción, factor de condición y talla de primer madurez de la sardina, *Sardina pilchardus* (Walb.), del litoral de Malaga, mar de Alboran (1989 a 1992). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 9: 145-155.

AMENZOUI K., FERHAN-TACHINANTE F., YAHYAOUI A., KIFANI S. & MESFIOUI A.K., 2004. - Étude de quelques aspects de la reproduction de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) de la région de Laâyoune (Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat,* Sect. Vie, 2005: 26-27.

AMENZOUI K., FERHAN-TACHINANTE F., YAHYAOUI A., KIFANI S. & MESFIOUI A.K., 2006. - Analysis of the cycle of reproduction of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) off the Moroccan Atlantic coast. *C. R. Biol.,* 329: 892-901.

ANDREU B., 1955. - Consideraciones sobre el comportamiento del ovario de sardina (*Sardina pilchardus* Walb.) en relación con el proceso de maduración y de freza. *Bol. Inst. Esp. Oceanog.,* 41: 1-16.

BEDAIRIA A. & DJEBAR A.B., 2009. - A preliminary analysis of the state of exploitation of the sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the gulf of Annaba, East Algerian. *Anim. Biodivers. Conserv.*, 32(2): 89-100.

BERTIN L., 1958. - L'appareil digestif des poissons. *In:* Traité de Zoologie (Anatomie, Systématique, Biologie). Agnathes et Poissons (Grassé P.P., éd.), pp. 926-1812. Paris : Masson.

BILLARD R., BRETON B., FOSTIER A., JALABERT B. & WELLE C., 1978. - Endocrine control of the teleost reproductive cycles and its relation to external factors: Salmonid and cyprinid models. *In:* Comparative Endocrinology *(*Gaillard P.J. & Boer H.H.), pp. 37-48, Amsterdam: Elsevier North Holland.

BOUCHEREAU J.L., 1981. - Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique exploitée de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) dans la baie d'Oran (Algérie). Thèse de Doctorat 3e cycle, 234 p. Univ. Aix-Marseille II, France.

BOUGIS P., 1952. - Rapport hépato-somatique et rapport gonado-somatique chez *Mullus barbatus* L. *Bull. Soc. Zool.*, 74: 326-330.

BOUIN P., 1897. - Études sur l'évolution normale et l'involution du tube séminifère. *Arch. Anat. Microsc.*, 1: 225-263.

BRAHMI B., BENNOUI A. & OUALIKEN A., 1998. - Estimation de la croissance de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) dans la région centre de la côte algérienne. *In*: Dynamique des Populations marines (Lleon Art J., ed.), pp. 57-64. Zaragoza: CIHEAM. (Cahiers Options Méditerranéennes, n° 35).

BURNS J.R., 1985. - The effect of low-latitude photoperiods on the reproduction of female and male, *Poeciliopsis gracilis* and *Poecilia sphenops*. *Copeia,* 4: 961-965.

DAGNELIE P., 1975. - Théorie et Méthodes statistiques. 2 : Les Méthodes de l'Inférence statistique. 451 p. Les Presses agronomiques de Gembloux.

DERBAL F. & KARA M.H., 2010. - Composition et variation des peuplements ichtyologiques d'herbier superficiel à *Posidonia oceanica* (L.). dans la baie d'Annaba. *Rev. Ecol.* (Terre Vie), 65: 1-11.

DE VLAMING V.V., 1974. - Environmental and endocrine control of teleost reproduction. *In*: Control of Sex in Fishes (Schrek C.R., ed.), pp. 13-83. Ext. Div., Virginia. Polytech. Inst., State Univ. Blacksbury Virginia.

DJABALI F. & MOUHOUB R., 1989. - Reproduction de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) de la région d'Alger. *Pélagos, Bull. Inst. Sci. Mer Aménage. Littoral*, 7(1): 29-31.

FONTANA A., 1969. - Étude de la maturité sexuelle des sardinelles *Sardinella eba* (Val) et *Sardinella aurita* (C. et V.) de la région de Pointe-Noire. *Cah. ORSTOM. Sér. Oceanog.*, 7(2): 101-108.

FULTON T.W., 1911. -The Sovereignty of the Sea. 799 p. Edinburgh & London.

GANIAS K., 2009. - Linking sardine spawning dynamics to environmental variability. *Estuar. Coast Shelf Sci.,* 84: 402-408

KARTAS F., 1981. - Les clupéidés de Tunisie. Caractéristiques biométriques et biologiques, étude comparée des populations de l'Atlantique est et de la Méditerranée. Thèse de Doctorat État, 608 p. Fac. Sci. Tunis, Tunisie.

KARTAS F. & QUIGNARD J.P., 1984. - La Fécondité des Poissons téléostéens. 121 p. Paris: Coll. Biol. Milieux Marins, Masson.

KING M., 1995. - Fisheries Biology: Assessment and Management. 341 p. Oxford, England: Fishing New Books, eds, Osney Mead.

L'HERROU R., 1971. - Étude biologique de la sardine du golfe de Gascogne et du plateau celtique. *Rev. Trav. Inst. Pêches Mar.,* 35(4): 455-473.

LAHAYE J., 1980. - Les cycles sexuels chez les poissons marins. *Océanis*, 6: 637-654.

LE DUFF M., 1997. - Cinétique de l'ovogenèse et stratégies de ponte chez les poissons téléostéens en milieu tempéré. Thèse de Doctorat, 170 p. Univ. Bretagne occidentale, Brest, France.

MARTOJA R. & MARTOJA-PIERSON M., 1967. - Initiation aux Techniques de l'Histologie animale. 345 p. Paris: Masson et Cie.

MELLINGER J., 2002. - Sexualité et Reproduction des Poissons. 346 p. Paris: CNRS Éditions.

MENDEZ-VILAMIL MATA M., LORENZO NESPEREIRA J.M, GONZALEZ PAJUELO J.M. & SOTO AGUILERA R., 1997. - Periodo reproductor y madurez sexual de la sardina *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) en aguas de Gran Canaria (islas Canarias). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 13(1-2): 47-55.

MILLÁN M., 1999. - Reproductive characteristics and condition status of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. from the Bay of Cadiz (SW Spain). *Fish. Res.,* 41: 73-86.

MOUHOUB R., 1986. - Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique de la population exploitée de la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum, 1792) des côtes algéroises, Thèse de Magistère, 163 p. USTHB Alger, Algérie.

MURUA H., KRAUS G., SABORIDO-REY F., WITTHAMES P., THORSEN A. & JUNQUERA S., 2003. - Procedures to estimate fecundity of marine fish species in relation to their reproductive strategy. J. N.W. *Atl. Fish Sci.,* 33: 33-54.

NIKOLSKY G.V., 1963. - The Ecology of Fishes. 352 p. London: Academic Press.

PÉREZ N., PORTEIRO C. & ALVAREZ F., 1985. - Contribución al conocimiento de la biología de la sardina de Galicia. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*., 2(3): 27-37.

PINTO J.S. & ANDREU B., 1957. - Scale for the determination of evolutive phases of sardine (*Sardina pilchardus,* Walb.) ovaries in connection with the histophysiology of the gonad. *Proc. and Tech. Papers from the General Fisheries Council for the Mediterranean*, 46: 393-411. (In French with English abstract.)

RÉ P., CABRALE SILVA R., CUNHA E., FARINHA A., MENESES I. & MOITA T., 1990. - *Sardina* spawning of Portugal. *Bol. Inst. Nac. Invest. Pescas*, 15: 31-44.

TOMASINI J.A., BOUCHEREAU J.L. & BEN SAHALA TALET A., 1989. - Reproduction et condition chez la sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) des côtes oranaises (Algérie). *Cybium*, 13(1): 7-50.

WITTHAMES P.R., GREER WALKER M., DINIS M.T., WHITING C.L., 1995. - The geographical variation in the potential annual fecundity of Dover sole *Solea solea* (L.) from European shelf waters during 1991. *Neth. .J Sea Res.,* 34:45–58